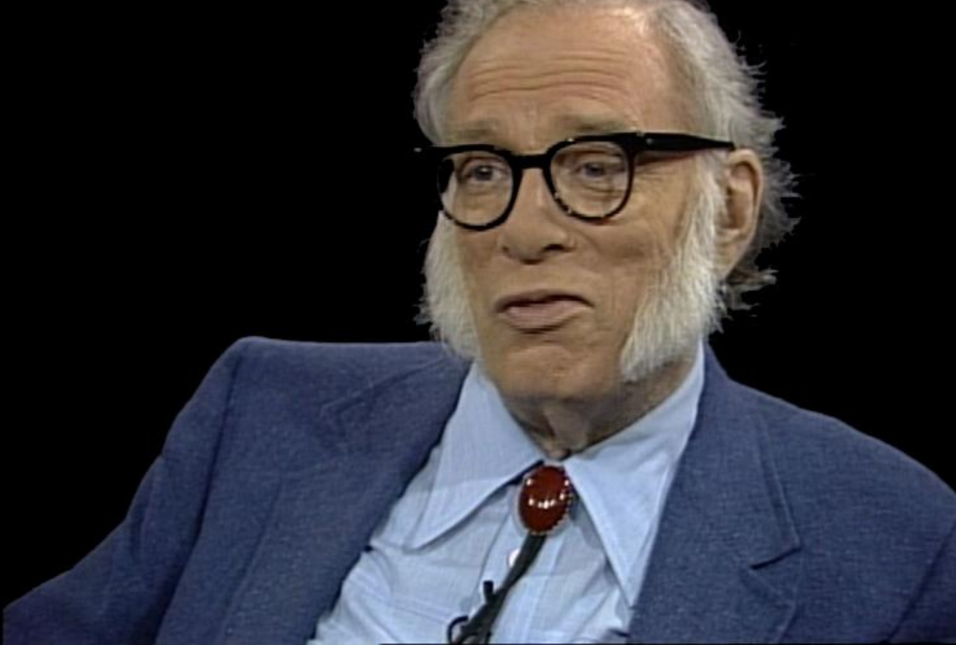
परमाणुओं के बारे में हमें कैसे पता चला?



आइज़क एसिमोव

हिंदी में प्रस्तुति: बाल विज्ञान खोजशाला समिति बेरीनाग (उत्तराखण्ड)

आइज़क एसिमोव एक श्रेष्ठ कथाकार हैं तथा विज्ञान कथाओं के विश्व के सबसे महान लेखकों में से एक हैं। वह वैज्ञानिक विकास के इतिहास के एक प्रसिद्ध विशेषज्ञ भी हैं, जिनमें विज्ञान के चमत्कारों को आम पाठकों, चाहे बुजुर्ग हों या युवा, समझाने की एक विशेष प्रतिभा है। उनकी कहानियाँ विज्ञान के तथ्य हैं, परंतु विज्ञान कथाओं के समान ही पठनीय हैं। परमाणुओं की धारणा सबसे पहले यूनान में ढाई हज़ार वर्ष से भी अधिक पहले प्रस्तुत की गई थी। लेकिन उनके पास कोई वास्तविक प्रमाण नहीं था, क्योंकि परमाणु देखने में बहुत छोटे थे। तब से, अनेक वैज्ञानिकों ने कठिन परिश्रम से धीरे-धीरे प्रमाण एकत्र किए। आज परमाणुओं का अस्तित्व सभी को ज्ञात है। अपनी स्पष्ट शैली में, आइज़क एसिमोव इस कठिन विषय को खोज को एक रोमचंक कहानी में बदल देते हैं।

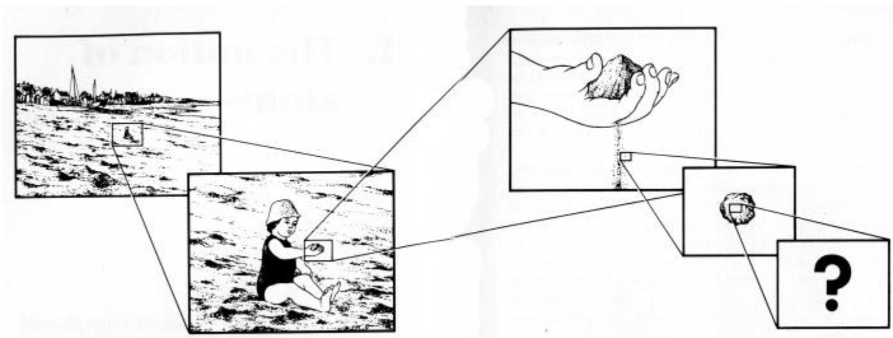


1. परमाणुओं की धारणा

क्या आपने कभी दूर से एक रेतीले समुद्र तट को देखा है? यह पदार्थ का एक विशाल ठोस टुकड़ा लगता है, है न?

हालाँकि, यदि आप इसके निकट आते हैं, तो आप देख सकते हैं कि यह रेत के छोटे, कठोर कणों से बना है। आप समुद्र तट की रेत में से कुछ को उठा सकते हैं और उसे अपनी उँगलियों के बीच से फिसलने दे सकते हैं। आप एक छोटे दाने को छोड़कर, जिसे आप अपनी हथेली में रख सकते हैं, बाकी सब को जाने दे सकते हैं।

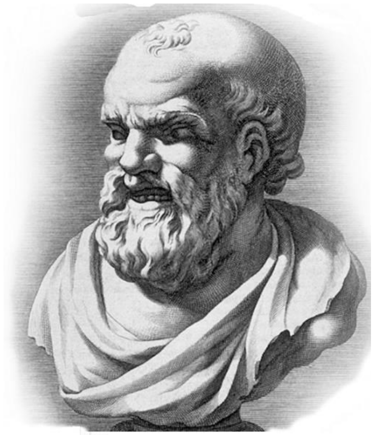
क्या वह छोटा दाना रेत का सबसे छोटा टुकड़ा है, जो हो सकता है? मान लीजिए कि आप उस छोटे दाने को एक बहुत कठोर चट्टान पर रखते हैं और उसे हथौड़े से मारते हैं। क्या आप उसे और छोटे-छोटे टुकड़ों में नहीं तोड़ सकते? क्या आप उनमें से एक छोटे टुकड़े को और भी छोटे टुकड़ों में नहीं तोड़ सकते? क्या आप ऐसा अनंत काल तक करते रह सकते हैं?



या मान लीजिए कि आप कागज की एक पेज लेते हैं और उसे आधे में फाड़ देते हैं। फिर मान लीजिए कि आप आधे पन्ने को फिर से आधे में फाड़ देते हैं, और उस नए छोटे टुकड़े को आधे में और इसी तरह? क्या आप ऐसा अनंत काल तक करते रह सकते हैं?

दो हज़ार पाँच सौ वर्ष पहले, लगभग 450 ईसा पूर्व, एक यूनानी दार्शनिक ने इन प्रश्नों के बारे में सोचा। उसका नाम ल्यूसिपस था। उसे यह मानने में कोई तर्क नहीं दिखा कि किसी भी चीज़ को छोटे, और छोटे, और छोटे टुकड़ों में अनंत काल तक तोड़ा जा सकता है। कहीं न कहीं एक अंत तो आना ही था। किसी बिंदु पर आपको एक इतना छोटा टुकड़ा अवश्य प्राप्त होना था जिसे आगे और छोटे टुकड़े में नहीं तोड़ा जा सकता था।

ल्यूसिपस का एक शिष्य, डेमोक्रिटस, था, जो इसी तरह सोचता था। 380 ईसा पूर्व में डेमोक्रिटस की मृत्यु तक, उन्होंने ब्रह्मांड के अपने सिद्धांतों के बारे में लगभग 72 पुस्तकें लिखी थीं। इन सिद्धांतों में यह विचार भी शामिल था कि संसार की हर चीज़ बहुत सूक्ष्म टुकड़ों से बनी है जो इतने छोटे हैं कि उन्हें आगे और नहीं तोड़ा जा सकता।



Democritus
(460 BC- 370 BC)

डेमोक्रिटस ने इन छोटे टुकड़ों का नाम "एटोमोस" रखा, जो एक यूनानी शब्द है जिसका अर्थ है "अविभाज्य"। वह शब्द अँगड़ाई अंग्रेजी में "एटम" और हिंदी में "परमाणु" बन जाता है।

डेमोक्रिटस ने सोचा कि पूरी दुनिया अलग-अलग प्रकार के परमाणुओं से बनी है और परमाणुओं के बीच में कुछ भी नहीं है। अलग-अलग परमाणु देखने में बहुत छोटे है, लेकिन जब उनमें से अनेक विभिन्न संयोजनों में जुड़ जाते थे, तो वे अलग-अलग तरह की विभिन्न चीजों का निर्माण करते हैं, जिन्हें हम अपने चारों ओर देखते हैं। उन्होंने सोचा कि परमाणुओं को बनाया या नष्ट नहीं किया जा सकता, हालाँकि वे अपनी व्यवस्था बदल सकते हैं। इस तरह, एक पदार्थ दूसरे में बदल जाएगा।

डेमोक्रिटस यह नहीं कह सकते थे कि वे इस सब पर विश्वास क्यों करते हैं। यह उन्हें केवल तर्कसंगत लगा। लेकिन अधिकांश अन्य यूनानी दार्शनिकों को तब उनका यह विचार तर्कसंगत नहीं लगा। वास्तव में, सबसे प्रसिद्ध यूनानी दार्शनिकों ने यह नहीं सोचा था कि परमाणु मौजूद हैं और डेमोक्रिटस के विचार, जिन्हें हम "परमाणुवाद" कह सकते हैं, इसलिए अलोकप्रिय हो गए।

प्राचीन काल में, सभी पुस्तकें हाथ से लिखी जाती थीं। किसी विशेष पुस्तक की एक से अधिक प्रति रखने के लिए, पूरी पुस्तक की हाथ से नकल बनानी पड़ती थी। यह बहुत कठिन परिश्रम का काम था, और केवल बहुत लोकप्रिय पुस्तकों की बड़ी संख्या में नकलें बनाई जाती थीं।

चूँकि डेमोक्रिटस की पुस्तकें लोकप्रिय नहीं थीं, इसलिए उनकी बहुत कम नकलें बनाई गईं। समय बीतने के साथ, एक के बाद एक नकलें खो गईं। आज, उनकी किसी भी पुस्तक की एक भी प्रति मौजूद नहीं है। वे सब पूरी तरह से लुप्त हो गई हैं। उनके सिद्धांतों के बारे में हमें जानकारी का एकमात्र कारण यह है कि अन्य प्राचीन पुस्तकें, जो बची हुई हैं, डेमोक्रिटस और परमाणुओं के उनके सिद्धांत का जिक्र करती हैं।

हालाँकि, डेमोक्रिटस की पुस्तकों के पूरी तरह से खो जाने से पहले, एक अन्य यूनानी दार्शनिक, एपिकुरस, ने उन्हें पढ़ा और वह स्वयं एक परमाणुवादी बन गया। 306 ईसा पूर्व में, उन्होंने एथेंस, यूनान में एक विद्यालय स्थापित किया, जो उस समय का एक महत्वपूर्ण शिक्षण केंद्र था। एपिकुरस एक लोकप्रिय शिक्षक थे और वे पहले व्यक्ति थे जिन्होंने महिलाओं को छात्राओं के रूप में अपने विद्यालय में आने दिया। उन्होंने सिखाया कि सभी चीजें परमाणुओं से बनी हैं, और माना जाता है कि उन्होंने विभिन्न विषयों पर कम से कम 300 पुस्तकें लिखी थीं (हालाँकि प्राचीन पुस्तकें आमतौर पर काफी छोटी होती थीं)।

यद्यपि लंबे समय में, एपिकुरस के विचार भी अलोकप्रिय हो गए और उनकी पुस्तकों की भी बहुत कम नकलें बनीं। अंततः, वे सभी डेमोक्रिटस की पुस्तकों की तरह ही लुप्त हो गईं।

परंतु परमाणुओं की धारणा विलुप्त नहीं हुई। एपिकुरस के दो शताब्दियों बाद, जब उनकी पुस्तकें अभी भी बची हुई थीं, एक रोमन विद्वान, लुक्रेशियस, परमाणुवादी बन गया। वह भी यही सोचता था कि संसार परमाणुओं से बना है। लगभग 56 ईसा पूर्व में, उसने लैटिन में एक लंबी कविता लिखी जिसका अंग्रेजी में शीर्षक है 'ऑन द नेचर ऑफ थिंग्स'। उस कविता में, उसने डेमोक्रिटस और एपिकुरस के विचारों को काफी विस्तार और बड़ी कुशलता से समझाया।

फिर भी, परमाणुओं की धारणा अब भी लोकप्रिय नहीं हुई थी। लुक्रेशियस की कविता की भी अक्सर नकल नहीं की गई। जैसे-जैसे यूनान और रोम की सभ्यताओं का पतन हुआ, एक के बाद एक नकलें गायब होती गईं, यहाँ तक कि यूरोप में मध्य युग के समय तक एक भी नकल शेष नहीं बची। डेमोक्रिटस, एपिकुरस और लुक्रेशियस का सारा लेखन लुप्त हो गया और लोग परमाणुओं के बारे में भूल गए।

फिर, 1417 ईस्वी में, किसी को एक अटारी में एक पुरानी पांडुलिपि मिली, जो लुक्रेशियस की कविता की क्षतिग्रस्त नकल थी। प्राचीन काल की कोई अन्य नकल कभी नहीं मिली। हालाँकि, उस समय तक, यूरोप के लोग सभी तरह के प्राचीन लेखन में बहुत रुचि लेने लगे थे, इसलिए, जब यह पांडुलिपि खोजी गई, तो इसकी तुरंत कई बार नकलें तैयार की गईं।

1454 में, जोहान गुटेनबर्ग नामक एक जर्मन ने मुद्रण यंत्र का आविष्कार किया। हाथों से नकल करने के बजाय, एक पुस्तक के सभी शब्दों को टाइप में व्यवस्थित किया जाने लगा। फिर टाइप पर स्याही लगाकर और कागज की शीटों को दबाकर एक के बाद एक नकल छापी जा सकती थी। इस तरह, हर

पुस्तक की कई प्रतियाँ शीघ्रता से बनाई जा सकती थीं। उसके बाद पुस्तकों के "गायब" होने का खतरा बहुत कम हो गया।



लुक्रेशियस की कविता छापे जाने वाली पहली पुस्तकों में से एक थी। कई यूरोपवासियों ने यह कविता पढ़ी और कुछ परमाणुओं की धारणा से प्रभावित हुए। उनमें से एक पियरे गैसेंडी नामक एक फ्रांसीसी विद्वान था, जिसने 1600 के दशक के पूर्वार्ध में कई प्रभावशाली पुस्तकें लिखीं। वह उस समय यूरोप के अन्य कई विद्वानों को जानता था और उन्हें परमाणुओं पर अपने विचारों से अवगत कराया।

इस प्रकार, ल्यूसिपस के मूल विचार 2000 वर्षों तक जीवित रहे। परमाणुवाद आधुनिक काल में सिर्फ इसलिए पहुँच पाया, क्योंकि लुक्रेशियस की कविता की वह एक नकल भाग्यवश मिल गई। बेशक, आधुनिक वैज्ञानिक शायद स्वयं ही परमाणुओं के बारे में सोच लेते, लेकिन प्राचीन काल से तैयार विचार मिल जाने से मदद जरूर मिली।

हालाँकि, पूरे 2000 वर्षों की अवधि में, एक बात ऐसी थी जिसने अधिकांश विद्वानों द्वारा परमाणुओं को गंभीरता से लिए जाने से रोका रखा। परमाणु

केवल एक धारणा थे। एक ऐसी धारणा, जिनमें कुछ लोगों को तार्किकता लगती थी।

कोई प्रमाण नहीं था। कोई भी यह नहीं कह सकता था, "यहाँ कुछ ऐसा है जो एक विशेष तरीके से व्यवहार करता है। इस व्यवहार की व्याख्या करने का एकमात्र तरीका यह मानना है कि परमाणु मौजूद हैं।"

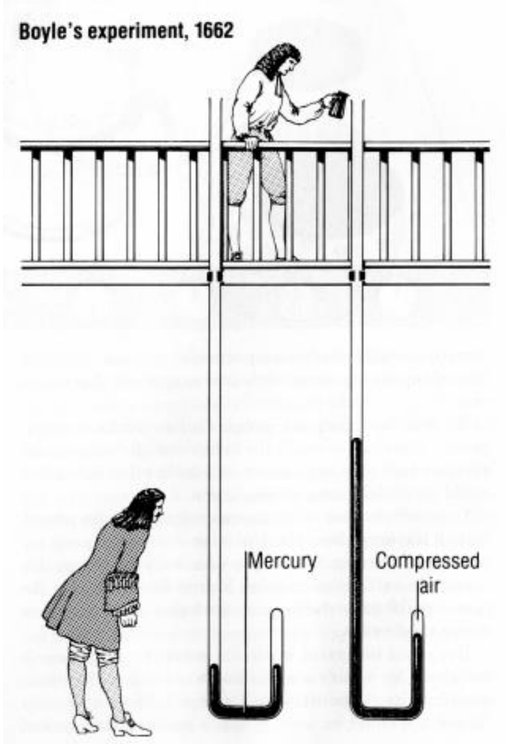
ऐसा प्रमाण खोजने के लिए, लोगों को प्रयोग करने होंगे। उन्हें पदार्थ के व्यवहार का कुछ विशेष परिस्थितियों में अध्ययन करना होगा, ताकि यह परखा जा सके कि क्या उस व्यवहार की व्याख्या परमाणुओं द्वारा की जा सकती है या नहीं।

गैसेंडी उन शुरुआती लोगों में से एक था जिसने सुझाव दिया कि ब्रह्मांड के बारे में जानने का उचित तरीका प्रयोग करना है। गैसेंडी के विचारों को जानने वालों में एक अंग्रेज रसायनज्ञ, रॉबर्ट बॉयल भी था। वह पहले वैज्ञानिक थे जिन्होंने ऐसे प्रयोग किए जिनसे लगा कि परमाणु मौजूद हो सकते हैं।

बॉयल की रुचि हवा में थी: उदाहरण के लिए, वह कैसे व्यवहार करती है। हवा एक ठोस पदार्थ नहीं थी जो छूने में कठोर हो और अपना आकार बनाए रखे, यह पानी की तरह एक तरल भी नहीं थी जो बहती है पर दिखाई देती है, यह एक ऐसा पदार्थ थी जो बहुत विरल रूप से फैल जाता है। ऐसे पदार्थ को "गैस" कहा जाता है। 1662 में, बॉयल ने थोड़ा पारा (एक तरल धातु) J अक्षर के आकार की एक 5-मीटर लंबी काँच की नली में डाला। नली के छोटे हिस्से का सिरा बंद था, जबकि लंबे हिस्से को खुला छोड़ दिया गया था।

पारा J के निचले हिस्से को भर गया और हवा नली के छोटे, बंद हिस्से में फँस गई। बॉयल ने फिर नली में और पारा डाला। अतिरिक्त पारे के भार ने उसके कुछ हिस्से को छोटे हिस्से में ऊपर धकेल दिया। जैसे-जैसे पारा अंदर धकेला गया, फँसी हवा एक छोटी सी जगह में दब गई। वह "संपीडित" हो

गई। बॉयल ने जितना अधिक पारा डाला, फँसी हवा उतनी ही अधिक संपीडित होकर छोटी और छोटी जगह में समाती गई।

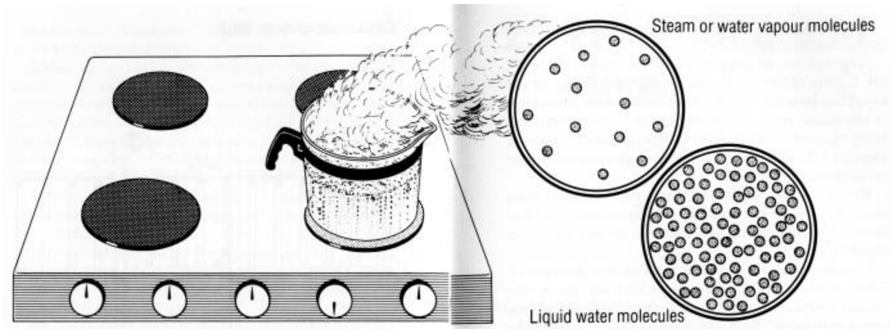


बॉयल ने यह निकाला कि हवा द्वारा घेरा गया स्थान पारे के बढ़ते भार के साथ कैसे कम होता गया। इसे "बॉयल का नियम" कहा जाता है। परंतु हवा संपीडित कैसे हो सकती है? उसे एक छोटी सी जगह में कैसे दबाया जा सकता है?

एक स्पंज को एक छोटी सी जगह में संपीडित किया जा सकता है। रोटी का एक टुकड़ा भी। ऐसा इसलिए है क्योंकि स्पंज या रोटी में छोटे-छोटे छिद्र होते हैं। जब आप स्पंज या रोटी को दबाते हैं, तो आप उन छिद्रों से हवा निकाल देते हैं और स्पंज या रोटी के ठोस पदार्थ को करीब लाते हैं। (यदि आप एक गीले स्पंज को दबाते हैं, तो आप छिद्रों से पानी निकाल देते हैं।)

यदि आप हवा को एक साथ दबा सकते हैं, जैसा कि बॉयल ने किया, तो इसका मतलब यह होना चाहिए कि हवा के बीच में छिद्र होते हैं। दबाने पर, आप उन छिद्रों को बंद कर देते हैं और हवा के पदार्थ को करीब लाते हैं।

बॉयल को लगा कि हवा के छोटे-छोटे टुकड़े अवश्य होंगे - सूक्ष्म परमाणु। परमाणुओं के बीच में ऐसा स्थान था जिसमें कुछ भी नहीं था। जब हवा को संपीडित किया गया, तो परमाणुओं को एक-दूसरे के करीब आने के



लिए मजबूर होना पड़ा। उन्होंने महसूस किया कि यह सभी गैसों के लिए सच है।

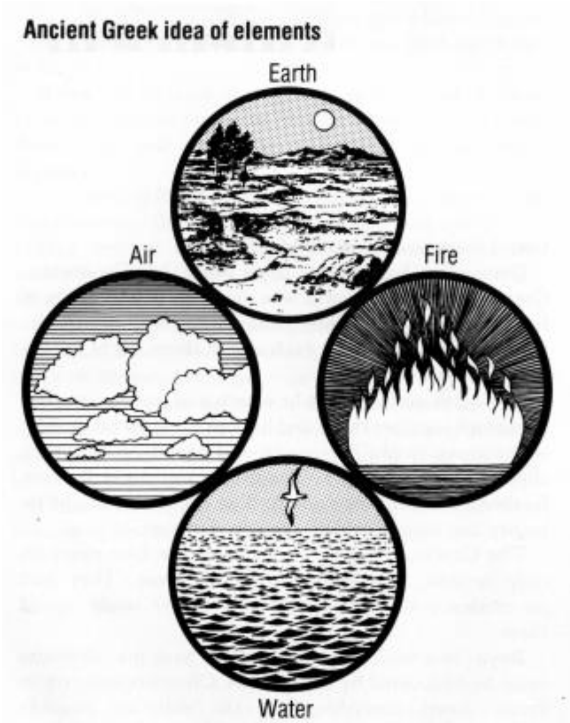
वास्तव में, यह तरल और ठोस पदार्थों पर भी लागू हो सकता है। यदि आप तरल पानी को उबालते हैं, तो वह भाप में बदल जाएगा, जो एक गैस है। यदि आप भाप को ठंडा करते हैं तो आपको फिर से पानी मिल जाता है।

भाप पानी से हज़ार गुना अधिक स्थान घेरती है। इसकी व्याख्या करने का सबसे आसान तरीका यह मानना है कि पानी में सभी परमाणु इतने करीब होते हैं कि वे एक-दूसरे को छू रहे होते हैं, जबकि भाप में वे दूर-दूर होते हैं।

इस प्रकार, 1662 में बॉयल के साथ, परमाणु पहली बार केवल एक धारणा के स्तर से आगे निकल गए।

2. परमाणुओं का प्रमाण

क्या विभिन्न प्रकार के परमाणु हो सकते हैं?



डेमोक्रिटस का विचार था कि हो सकते हैं। प्राचीन यूनानियों का मानना था कि दुनिया चार प्रकार के मूल पदार्थों या "तत्वों" से बनी है। ये थे पृथ्वी, जल, वायु और अग्नि। डेमोक्रिटस ने महसूस किया कि उनमें से प्रत्येक के पास अलग-अलग प्रकार का परमाणु हो सकते हैं।

पृथ्वी के परमाणु खुरदरे और असमान हो सकते हैं, ताकि वे आसानी से एक साथ चिपक जाएँ और ठोस पृथ्वी का निर्माण करें। जल के परमाणु चिकने और गोल हो सकते हैं, ताकि वे एक-दूसरे के पास से फिसल जाएँ। वायु के परमाणु बहुत हल्के-फुल्के हो सकते हैं, ताकि वे तैरते रहें। अग्नि के परमाणु नुकीले और दाँतेदार हो सकते हैं, इसीलिए आग से चोट लगती है।

हालाँकि, यूनानियों ने चार तत्वों को केवल इसलिए चुना था क्योंकि वे तार्किक लगते थे। उनके पास इस बात का कोई प्रमाण नहीं था कि दुनिया वास्तव में उन्हीं से बनी है।

बॉयल ने, 1661 में लिखी अपनी एक पुस्तक में, कहा कि तत्वों की खोज प्रयोगों द्वारा की जानी चाहिए। रसायनज्ञों को हर चीज को यथासंभव सरल पदार्थों में तोड़ने का प्रयास करना चाहिए। एक बार उनके पास कुछ ऐसा हो जाए जिसे और नहीं तोड़ा जा सकता, वह एक तत्व होगा। बॉयल की पुस्तक प्रकाशित होने के बाद, रसायनज्ञों ने पदार्थों के साथ प्रयोग करके तत्वों की खोज शुरू की। 1700 के दशक के अंत तक, उन्होंने लगभग 30 विभिन्न तत्वों की खोज कर ली थी।

अधिकांश सामान्य धातुएँ, जैसे तांबा, चाँदी, सोना, लोहा, टिन, सीसा और पारा, तत्व हैं। ये धातुएँ प्राचीन यूनानियों को ज्ञात थीं, लेकिन 1700 के दशक के रसायनज्ञों ने नई धात्विक तत्वों की भी खोज की, जैसे निकल, कोबाल्ट और यूरेनियम। रसायनज्ञों ने यह भी खोजा कि वायु दो गैसों, ऑक्सीजन और नाइट्रोजन का मिश्रण है। प्रत्येक एक तत्व है। एक अन्य गैस जो एक तत्व है, वह है हाइड्रोजन। ऐसे तत्व भी हैं जो न तो धातु हैं और न ही गैस। कार्बन, सल्फर और फॉस्फोरस इनके उदाहरण हैं।

क्या यह संभव हो सकता है कि प्रत्येक तत्व में एक अलग प्रकार का परमाणु हो? क्या चाँदी के परमाणु, निकल के परमाणु, ऑक्सीजन के परमाणु और सल्फर के परमाणु हो सकते हैं?

1700 के दशक भर में, कुछ रसायनज्ञों ने इस बारे में सोचा। हालाँकि बॉयल और कुछ अन्य परमाणुवादी थे, अधिकांश रसायनज्ञ नहीं थे। उन्होंने नए तत्वों की खोज की और इनके व्यवहार के तरीके का अध्ययन किया। उन्होंने अपने आप को परमाणुओं से नहीं जोड़ा, क्योंकि उन्हें ऐसे सूक्ष्म वस्तुओं का अध्ययन करने का कोई लाभ नहीं दिखा जिन्हें देखा नहीं जा सकता।

फिर भी, परमाणुओं के लिए प्रमाण बढ़ते गए। कुछ प्रमाण एक फ्रांसीसी रसायनज्ञ, एंटोनी लॉरेंट लावॉज़ियर ने खोज निकाले। उन्होंने 1782 में खोजा

कि जब एक पदार्थ दूसरे में बदल जाता है, जैसे कि जब लकड़ी को हवा में जलाया जाता है और वह राख और धुआँ बन जाती है, तो कुल वजन नहीं बदलता। अंतिम राख और धुआँ मूल लकड़ी और हवा



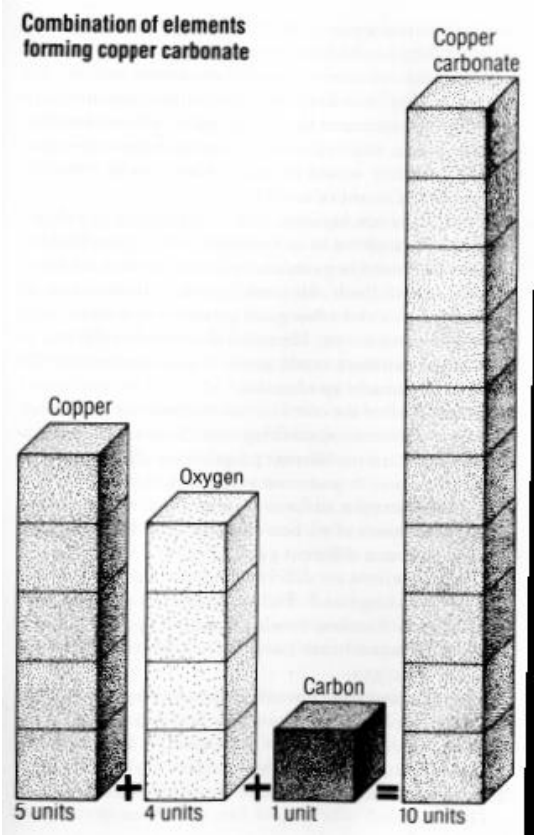
जितना वजन रखते हैं। इसे "द्रव्यमान संरक्षण का नियम" कहा जाता है। लावॉज़ियर उन रसायनज्ञों में से एक नहीं थे जो स्वयं को परमाणुओं से जोड़ते थे, लेकिन उनकी खोज ने इस धारणा को मज़बूत जरूर किया।

मान लीजिए कि डेमोक्रिटस सही था। मान लीजिए कि परमाणुओं को बनाया या नष्ट नहीं किया जा सकता है, और केवल उनकी व्यवस्था बदली जा सकती है। लकड़ी और हवा में एक तरह की व्यवस्था में परमाणु होंगे। जब लकड़ी जलाई जाती है, तो परमाणु राख और धुआँ बनाने के लिए अपनी व्यवस्था बदल देते हैं। फिर भी, सभी परमाणु उतने ही रहेंगे, और उनका कुल वजन भी नहीं बदलेगा।

यदि ऐसा है, तो हम इस मामले का और परीक्षण कर सकते हैं। कुल वजन का उपयोग करने के बजाय, हम प्रत्येक अलग तत्व को तौल सकते हैं और देख सकते हैं कि जब हम चीजों को बदलते हैं तो क्या होता है।

एक फ्रांसीसी रसायनज्ञ, जोसेफ लुई प्रूस्ट, ने यह कोशिश की। उन्होंने स्पेन में काम किया क्योंकि 1789 में फ्रांस में एक हिंसक क्रांति शुरू हुई थी और उन्होंने सोचा कि वहां से चले जाना सुरक्षित होगा। (यह सुरक्षित था। बेचारे लावॉज़ियर ने फ्रांस नहीं छोड़ा और 1794 में उनका सिर काट दिया गया।) एक चीज जो प्रूस्ट ने पाई, वह यह थी कि वह तीन तत्वों, तांबा, कार्बन और ऑक्सीजन को मिलाकर "कॉपर कार्बोनेट" नामक एक "यौगिक" बना सकते थे। (यौगिक एक पदार्थ है जो विभिन्न तत्वों के संयोजन से बना होता

है।) ऐसा करने के लिए, उन्होंने 5 ग्राम तांबा, 4 ग्राम ऑक्सीजन और 1 ग्राम कार्बन लिया। उन्होंने अंत में 10 ग्राम कॉपर कार्बोनेट प्राप्त किया, क्योंकि कुल वजन नहीं बदल सकता था।



हालाँकि, प्रूस्ट ने पाया कि इन तत्वों को एक साथ जोड़ने के लिए उन्होंने चाहे जो भी तरीका अपनाया हो, उन्हें हमेशा एक ही अनुपात का उपयोग करना पड़ा। यह हमेशा तांबे का 5, ऑक्सीजन का 4 और कार्बन का 1 का अनुपात होता था। यदि वह अन्य अनुपातों से शुरुआत करते, तो हमेशा एक या दो तत्वों का कुछ हिस्सा बच जाता था।

प्रूस्ट ने आगे दिखाया कि यह बात अन्य यौगिकों के लिए भी सत्य है। वे हमेशा तत्वों के निश्चित अनुपात में ही बनते थे और किसी अन्य अनुपात में नहीं। 1799 तक, प्रूस्ट को यकीन हो गया था कि यह सभी यौगिकों के लिए सत्य है। उनकी इस खोज को "निश्चित अनुपात का नियम" कहा जाता है।

प्रूस्ट स्वयं परमाणुओं को लेकर बहुत गम्भीर नहीं थे, लेकिन आप देख सकते हैं कि वे इस कहानी में अवश्य फिट होते हैं। मान लीजिए कि सभी तत्व परमाणुओं से बने हैं, और परमाणुओं को छोटे टुकड़ों में नहीं तोड़ा जा सकता।

जब तत्व किसी यौगिक को बनाने के लिए जुड़ते हैं, तो एक तत्व के इतने परमाणु दूसरे तत्व के इतने परमाणुओं के साथ मिल जाएंगे।



परमाणुओं और निश्चित अनुपात के नियम के बीच के इस संबंध का विचार एक अंग्रेजी रसायनज्ञ, जॉन डाल्टन के मन में आया। उनकी रुचि गैसों में थी और वे बॉयल के प्रयोगों से भली भांति वाकिफ थे।

वह जान गये थे कि वायु और अन्य गैसों के व्यवहार को समझाने का सबसे अच्छा तरीका यह मानना है कि वे परमाणुओं से बनी हैं। वह यह भी देख पा रहे थे कि निश्चित अनुपात का नियम तभी समझ में आता है जब आप मानते हैं कि सभी तत्व परमाणुओं से बने हैं। डाल्टन ने स्वयं तत्वों के संयोजन का अध्ययन किया और उन्हें कुछ नया पता चला।

कभी-कभी दो तत्व अलग-अलग अनुपात में भी संयोजित होते थे। उदाहरण के लिए, 3 ग्राम कार्बन 4 ग्राम ऑक्सीजन के साथ मिलकर एक निश्चित गैस बनाते हैं। दूसरी ओर, 3 ग्राम कार्बन 8 ग्राम ऑक्सीजन के साथ मिलकर एक अलग गैस बनाते हैं।

अनुपात अलग हैं, लेकिन आप देखेंगे कि 8, 4 से ठीक दोगुना है। डाल्टन ने सोचा कि क्या पहले मामले में, कार्बन का 1 परमाणु ऑक्सीजन के 1 परमाणु के साथ जुड़ता है, जबकि दूसरे मामले में कार्बन का 1 परमाणु ऑक्सीजन के 2 परमाणुओं के साथ जुड़ता है।

आजकल हमारे पास इन दोनों गैसों के जो नाम हैं, वे इस विचार का समर्थन करते हैं। तीन ग्राम कार्बन और 4 ग्राम ऑक्सीजन "कार्बन

मोनोऑक्साइड" बनाते हैं, जबकि 3 ग्राम कार्बन और 8 ग्राम ऑक्सीजन "कार्बन डाइऑक्साइड" बनाते हैं। उपसर्ग "मोनो" का अर्थ है "एक" और "डाई" का अर्थ है "दो"।

डाल्टन को इसी तरह के अन्य मामले मिले। हाइड्रोजन का एक ग्राम कार्बन के 3 ग्राम के साथ मिलकर मीथेन नामक गैस बना सकता है। हाइड्रोजन का एक ग्राम कार्बन के 6 ग्राम के साथ मिलकर एथिलीन नामक गैस बना सकता है। फिर से, ध्यान दें कि 6, 3 से दोगुना है।

जब भी डाल्टन ने तत्वों को अलग-अलग अनुपात में संयुक्त पाया, तो उच्च अनुपात हमेशा निचले अनुपात के साधारण गुणज होते थे - वे दोगुने या तीन गुने होते थे। डाल्टन की इस खोज को "गुणित अनुपात का नियम" कहा जाता है और उन्होंने इसे 1803 में घोषित किया।

डाल्टन देख सकते थे कि गुणित अनुपात का नियम तभी समझ में आता है जब आप मानते हैं कि एक तत्व का एक परमाणु या दो परमाणु या तीन परमाणु दूसरे तत्व के एक परमाणु के साथ मिल सकते हैं, लेकिन दो और आधा परमाणु या ऐसा कुछ कभी नहीं। उन्होंने सोचा कि यह अंतिम सबूत है जो यह दिखाने के लिए आवश्यक है कि तत्व परमाणुओं के रूप में संयुक्त होते हैं जिन्हें छोटे टुकड़ों में नहीं तोड़ा जा सकता।

1808 में, डाल्टन ने एक किताब प्रकाशित की जिसमें उन्होंने परमाणुओं पर अपने विचारों का वर्णन किया। इस पुस्तक के कारण, डाल्टन को ही आमतौर पर "परमाणु सिद्धांत" को विकसित करने और परमाणुओं की खोज करने का श्रेय दिया जाता है।

यह आपको अजीब लग सकता है, क्योंकि उनके विचार 2000 साल पहले ल्यूसिपस और डेमोक्रिटस के विचारों के समान थे। तो फिर उन प्राचीन यूनानी दार्शनिकों को श्रेय क्यों नहीं दिया जाता?

एक अंतर है, आप देखिए। ल्यूसिपस और डेमोक्रिटस सिर्फ अपनी राय व्यक्त कर रहे थे। उनके पास कोई सबूत नहीं था, इसलिए किसी को उन पर विश्वास करने की जरूरत नहीं थी, और वास्तव में, शायद ही किसी ने किया।

हालाँकि, डाल्टन ने उन सभी रासायनिक प्रयोगों की समीक्षा की जिन्हें परमाणुओं के अस्तित्व की धारणा से आसानी से समझाया जा सकता था। उन्होंने दिखाया कि उनका उपयोग बॉयल के नियम, द्रव्यमान संरक्षण के नियम, निश्चित अनुपात के नियम और गुणित अनुपात के नियम की व्याख्या करने के लिए कैसे किया जा सकता है।

जब परमाणुओं की धारणा इतने सारे अलग-अलग निष्कर्षों की व्याख्या कर सकती है, और इन निष्कर्षों की किसी अन्य तरीके से व्याख्या सम्भव नहीं है, तो इस धारणा को अस्वीकार करना मुश्किल है। अब लोग यह मानने लगे कि परमाणु वास्तव में मौजूद हैं। डाल्टन की पुस्तक के प्रकाशित होने के बाद, अधिकतर रसायनज्ञों ने परमाणुओं की धारणा को स्वीकार करना शुरू कर दिया और जल्द ही लगभग सभी रसायनज्ञों ने ऐसा कर लिया। इसीलिए परमाणु सिद्धांत का श्रेय डाल्टन को दिया जाता है।

3. परमाणुओं का भार

डाल्टन ने सोचा कि विभिन्न तत्वों के परमाणु एक दूसरे से अलग क्यों हैं।

लावॉज़ियर, प्रूस्ट और डाल्टन जैसे लोगों द्वारा किए गए प्रयोगों में विभिन्न पदार्थों के भार शामिल थे। शायद विभिन्न परमाणुओं के भार निकालना संभव था। शायद यही वजह थी कि परमाणु एक दूसरे से अलग थे।

बेशक, कोई भी एक परमाणु का वजन नहीं नाप सकता था। वह देखने में बहुत छोटा था और निश्चित रूप से काम करने के लिए बहुत छोटा था। हालाँकि, शायद विभिन्न परमाणुओं के भार की तुलना एक दूसरे से की जा सकती थी।

उदाहरण के लिए, 1 ग्राम हाइड्रोजन 8 ग्राम ऑक्सीजन के साथ मिलकर पानी बनाता है। मान लीजिए कि आप पानी के लिए सबसे सरल परमाणु व्यवस्था मानते हैं - 1 हाइड्रोजन परमाणु 1 ऑक्सीजन परमाणु के साथ मिला हुआ। उस स्थिति में, इसका मतलब यह होना चाहिए कि प्रत्येक ऑक्सीजन परमाणु प्रत्येक हाइड्रोजन परमाणु से 8 गुना भारी है। यदि आप हाइड्रोजन परमाणु के भार को 1 मानते हैं, तो आपको ऑक्सीजन परमाणु के भार को 8 मानना होगा।

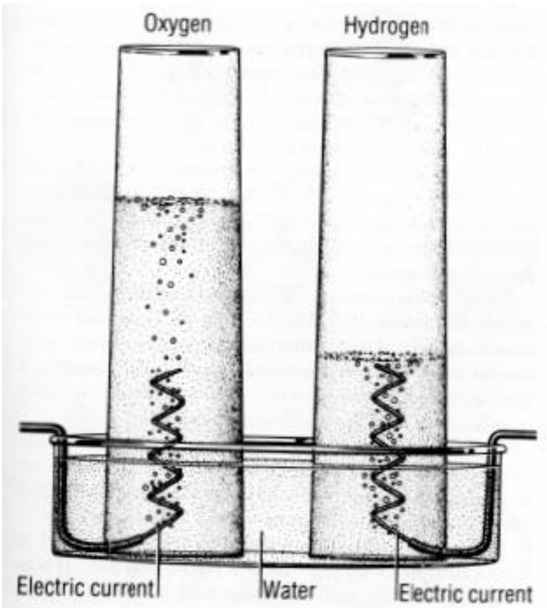
डाल्टन ने तत्वों के अन्य संयोजनों के भार की तुलना करना जारी रखा और यह पता लगाया कि हाइड्रोजन की तुलना में प्रत्येक परमाणु कितना भारी था। (हाइड्रोजन सभी परमाणुओं में सबसे हल्का होने के रूप में सामने आया।)

हालाँकि, डाल्टन ने एक गलती की थी। यह पता चला कि पानी प्रत्येक ऑक्सीजन परमाणु के साथ एक हाइड्रोजन परमाणु के जुड़ने से नहीं बना था।

1800 में, एक इतालवी वैज्ञानिक, अलेस्सान्ड्रो वोल्टा ने पहली इलेक्ट्रिक बैटरी बनाई थी। इसने एक विद्युत प्रवाह उत्पन्न किया जिसे कुछ पदार्थों से गुजारा

जा सकता था। वर्ष खत्म होने से पहले, एक अंग्रेजी रसायनज्ञ, विलियम निकल्सन को इस खोज के बारे में पता चला। उन्होंने अपनी खुद की एक बैटरी बनाई और पानी के माध्यम से एक विद्युत प्रवाह पारित किया।

निकल्सन ने पाया कि जब पानी से विद्युत प्रवाह गुजरता है, तो पानी हाइड्रोजन और ऑक्सीजन में टूट जाता है। उन्होंने दोनों गैसों को अलग-अलग एकत्र किया और पाया कि हाइड्रोजन का आयतन (जो स्थान उसने लिया) ऑक्सीजन के आयतन से दोगुना था।



1809 में, एक फ्रांसीसी रसायनज्ञ, जोसेफ लुई गे-लुसाक ने पाया कि गैसें हमेशा ऐसे आयतन में संयुक्त होती प्रतीत होती हैं जिन्हें छोटी पूर्ण संख्याओं के रूप में लिखा जा सकता है। जब हाइड्रोजन और ऑक्सीजन मिलकर पानी बनाते हैं, तो हाइड्रोजन का आयतन ऑक्सीजन के आयतन से ठीक दोगुना होता है। जब हाइड्रोजन और क्लोरीन मिलकर हाइड्रोजन क्लोराइड बनाते हैं, तो हाइड्रोजन का आयतन क्लोरीन के आयतन के बराबर होता है। जब नाइट्रोजन और हाइड्रोजन मिलकर अमोनिया बनाते हैं, तो हाइड्रोजन का आयतन नाइट्रोजन के आयतन से ठीक 3 गुना होता है। इसे "संयोजी आयतनों का नियम" कहा जाता है।

1811 में, एक इतालवी भौतिक विज्ञानी, अमेदियो आवोगाद्रो ने दावा किया कि वह संयोजी आयतन के नियम की व्याख्या कर सकते हैं, यदि विभिन्न गैसों के समान आयतन में हमेशा समान संख्या में कण होते हैं। ये कण अलग-अलग परमाणु हो सकते हैं, या वे परमाणुओं के संयोजन हो सकते हैं जिन्हें "अणु" कहा जाता है। इसे "आवोगाद्रो की परिकल्पना" कहा जाता है। ("परिकल्पना" शब्द का अर्थ है राय।)

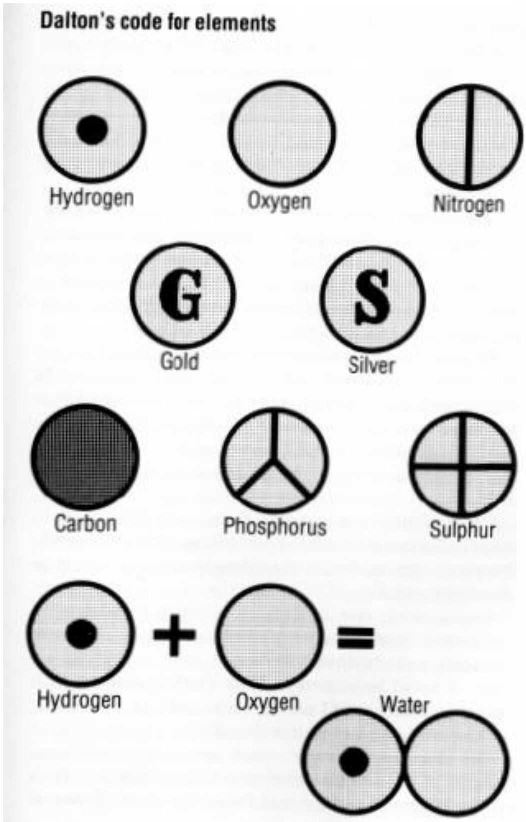


यदि यह परिकल्पना सही थी, चूँकि हाइड्रोजन के 2 आयतन ऑक्सीजन के 1 आयतन के साथ मिलते हैं, तो इसका संभावित अर्थ यह होगा कि 2 हाइड्रोजन परमाणु और 1 ऑक्सीजन परमाणु मिलकर पानी का एक अणु बनाते हैं, न कि प्रत्येक का एक परमाणु जैसा कि डाल्टन ने सोचा था।

पानी बनाने में प्रयुक्त ऑक्सीजन की मात्रा अभी भी हाइड्रोजन की मात्रा से 8 गुना भारी है। इसका मतलब है कि पानी के अणु में ऑक्सीजन परमाणु का वजन 2 हाइड्रोजन परमाणुओं के कुल वजन से 8 गुना अधिक होना चाहिए। एक ऑक्सीजन परमाणु का वजन तब एक हाइड्रोजन परमाणु के वजन से 16 गुना अधिक होना चाहिए। यदि हम हाइड्रोजन का वजन 1 मानते हैं, तो ऑक्सीजन का वजन 16 होना चाहिए।

रसायनज्ञों ने पानी के अणु में 2 हाइड्रोजन परमाणुओं की उपस्थिति को स्वीकार करना शुरू कर दिया, लेकिन लगभग किसी ने भी आवोगाद्रो की परिकल्पना पर ध्यान नहीं दिया। लगभग 50 वर्षों तक, रसायनज्ञों को बिल्कुल भी समझ नहीं आया कि गुणित अनुपात के नियम का क्या अर्थ है।

1810 के दशक तक, इतने सारे रसायनज्ञ तत्वों और परमाणुओं के बारे में बात कर रहे थे कि उन्होंने महसूस किया कि उन्हें वास्तव में उन्हें व्यक्त करने के लिए किसी संक्षिप्त तरीके की आवश्यकता है। जब भी वे पानी की रचना करने वाले कणों के बारे में बात करना चाहते थे, तो "2 हाइड्रोजन परमाणु और 1 ऑक्सीजन परमाणु से बना एक पानी का अणु" कहना हमेशा बहुत जटिल होता था।



डाल्टन ने परमाणुओं का प्रतिनिधित्व करने के लिए छोटे वृत्तों का उपयोग किया था। उन्होंने प्रत्येक भिन्न तत्व के परमाणुओं को एक भिन्न प्रकार के वृत्त के रूप में खींचा। एक तत्व केवल एक खाली वृत्त था, दूसरा एक काले रंग का वृत्त था, तीसरा उसमें एक बिंदु वाला वृत्त था, और इसी तरह। यह दिखाने के लिए कि विभिन्न परमाणु यौगिकों का निर्माण करने के लिए कैसे संयुक्त होते हैं, उन्होंने विभिन्न वृत्तों को एक साथ रखा। यह एक प्रकार का कोड था जो उपयोग करने में बहुत कठिन होता गया, क्योंकि बहुत अधिक तत्वों और यौगिकों का प्रतिनिधित्व करने वाले कोडों की आवश्यकता थी।

एक स्वीडिश रसायनज्ञ, जोंस जैकब बर्ज़ीलियस नाने 1813 में एक बेहतर विचार प्रस्तुत किया। उन्होंने सुझाव दिया कि प्रत्येक तत्व को उसके लैटिन नाम के प्रारंभिक अक्षर से दर्शाया जाए। यदि दो तत्व एक ही अक्षर से शुरू होते हैं, तो नाम से एक दूसरा अक्षर इस्तेमाल किया जा सकता है। वह "रासायनिक प्रतीक" होगा, जो तत्व का प्रतिनिधित्व करता है और साथ ही तत्व के एक परमाणु का भी प्रतिनिधित्व करता है।



इस प्रकार, ऑक्सीजन को O, नाइट्रोजन को N, कार्बन को C, हाइड्रोजन को H, क्लोरीन को Cl, सल्फर को S, फॉस्फोरस को P, और इसी तरह से दर्शाया जा सकता है। जब लैटिन नाम अंग्रेजी वाले से अलग होते थे, तो प्रतीक उतना स्पष्ट नहीं होता था। चूंकि सोने के लिए लैटिन शब्द "ऑरम" है, उदाहरण के लिए, सोने का रासायनिक प्रतीक "Au" है।

बर्ज़ीलियस की प्रणाली का उपयोग करके, विभिन्न पदार्थों के अणुओं को दिखाना आसान हो गया। उदाहरण के लिए, H एक एकल हाइड्रोजन परमाणु का प्रतिनिधित्व करता है, लेकिन यह पाया गया कि हाइड्रोजन गैस एकल परमाणुओं से नहीं बनी थी। यह अणुओं से बनी थी, जिनमें से प्रत्येक 2 हाइड्रोजन परमाणुओं से बना था। अणु को H_2 के रूप में लिखा जा सकता है।

गैसीय रूप में अन्य तत्व भी दो परमाणु वाले अणुओं के रूप में पाए गए। आप ऑक्सीजन अणु, नाइट्रोजन अणु और क्लोरीन अणु के लिए O_2, N_2 और Cl_2 लिख सकते हैं।

एक से अधिक प्रकार के परमाणुओं से बने अणुओं के प्रतीक लिखना भी उतना ही आसान था। चूंकि पानी का अणु 2 हाइड्रोजन परमाणुओं और 1 ऑक्सीजन परमाणु से बना है, इसे H_2O के रूप में लिखा जा सकता है। कार्बन डाइऑक्साइड, जिसके अणु 1 कार्बन परमाणु और 2 ऑक्सीजन परमाणुओं से बने होते हैं, CO_2 है, जबकि कार्बन मोनोऑक्साइड CO है।

बर्ज़ीलियस ने कई वर्षों तक विभिन्न तत्वों के सटीक भार मापे जो विशिष्ट यौगिकों का निर्माण करने के लिए संयुक्त होते थे, जैसा कि प्रूस्ट ने किया था। हालाँकि, बर्ज़ीलियस ने प्रूस्ट की तुलना में अधिक यौगिकों का परीक्षण किया और वह अधिक सटीकता से काम करने में सक्षम थे।

बर्ज़ीलियस ने विभिन्न तत्वों के परमाणुओं के भार निकालने के लिए अपनी मापों का उपयोग किया। 1828 में, उन्होंने "परमाणु भार" नामक एक तालिका प्रकाशित की। अधिकांश तत्वों के लिए, बर्ज़ीलियस की तालिका सटीक थी, लेकिन दुर्भाग्य से, उन्होंने गैसों के समान आयतन में समान संख्या में कणों के बारे में आवोगाद्रो की परिकल्पना पर कोई ध्यान नहीं दिया। इस कारण से, वह कुछ मामलों में गलत रास्ते पर चले गए और 2 या 3 परमाणु भार पूरी तरह से गलत निकले। दूसरे भी गुमराह हुए और लंबे समय तक विभिन्न रसायनज्ञों ने कुछ तत्वों के लिए अलग-अलग परमाणु भार पर जोर दिया। कुछ हाइड्रोजन परमाणु (H) और हाइड्रोजन अणु (H_2) के बीच, और इस प्रकार के अन्य मामलों के बीच भ्रमित थे।

1850 के दशक तक, विभिन्न अणुओं की संरचना और सूत्रों को लिखने के तरीके के बारे में इतने तर्क-वितर्क होने लगे कि ऐसा लगने लगा कि परमाणुओं की पूरी धारणा को छोड़ना होगा। परमाणुवाद सही नहीं हो सकता था यदि इससे इतनी परेशानी पैदा होती।

एक जर्मन रसायनज्ञ, फ्रेडरिक ऑगस्ट केकुले ने सोचा कि सबसे अच्छी बात यह होगी कि यूरोप के सभी रसायनज्ञों को एक साथ लाया जाए और

उनसे इस पर बहस कराई जाए। इसलिए, 1860 में, जर्मनी के कार्ल्सरूहे शहर में प्रथम अंतरराष्ट्रीय रासायनिक कांग्रेस आयोजित की गई। यह वैज्ञानिकों की पहली अंतरराष्ट्रीय बैठक थी। इसमें जर्मनी, फ्रांस, ग्रेट ब्रिटेन, रूस, इटली और अन्य देशों से एक सौ चालीस रसायनज्ञों ने भाग लिया।

उपस्थित लोगों में से एक इतालवी रसायनज्ञ, स्टैनिस्लाओ कैनिज़ारो थे। वे आवोगाद्रो की परिकल्पना के बारे में जानते थे और उन्हें विश्वास था कि यदि रसायनज्ञों ने इस पर ध्यान दिया, तो वे सभी बहुत बेहतर स्थिति में होंगे।

उन्होंने अपने सभी विचार एक स्पष्ट रूप से लिखित पुस्तिका में प्रस्तुत किए। कांग्रेस में, उन्होंने आवोगाद्रो के बारे में एक मजबूत भाषण दिया, और फिर मौजूद सभी रसायनज्ञों को अपनी पुस्तिका वितरित की। उन्होंने कुछ और महत्वपूर्ण रसायनज्ञों से निजी तौर पर भी बात की और सभी बिंदुओं को ध्यान से समझाया।

उनके प्रयासों ने काम किया। रसायनज्ञ समझ गए, और पिछले वर्षों का भ्रम दूर होने लगा। उस समय, एक बेल्जियाई रसायनज्ञ, जीन सर्वाइस स्टास, बर्ज़ीलियस से भी अधिक सावधानी के साथ परमाणु भार की एक तालिका तैयार कर रहे थे। उन्होंने इतनी सावधानी से काम किया कि वे दिखा सके कि ऑक्सीजन हाइड्रोजन परमाणु से ठीक 16 गुना भारी नहीं थी। यह उससे थोड़ा कम भारी था। यदि हाइड्रोजन परमाणु 1 था, तो ऑक्सीजन परमाणु 15.88 था।

हालाँकि, ऑक्सीजन हाइड्रोजन की तुलना में विभिन्न तत्वों के अधिक के साथ संयुक्त होती है, इसलिए स्टास लगभग हर समय इसके साथ काम करते थे। ऑक्सीजन का परमाणु भार एक सटीक संख्या होना उनके लिए बहुत सुविधाजनक था। इसने अंकगणित को आसान बना दिया। स्टास ने ऑक्सीजन का परमाणु भार ठीक 16 माना, जिसका मतलब था कि हाइड्रोजन का परमाणु

भार 1 के बजाय 1.008 होगा। यह प्रणाली सौ वर्षों तक इस्तेमाल की जाती रही।

कैनिज़ारो द्वारा सम्मेलन में इसकी व्याख्या करने के बाद स्टास ने आवोगाद्रो की परिकल्पना को अपनाया। स्टास ने तदनुसार अपने परमाणु भार तैयार किए और 1865 तक वे ऐसे आंकड़ों की पहली आधुनिक तालिका सार्वजनिक करने में सक्षम हो गए। उस समय के बाद से, उनके आंकड़ों में सुधार किए गए हैं, लेकिन केवल छोटे सुधार।

4. परमाणुओं की व्यवस्था

हालाँकि परमाणु भार की समस्या अब हल हो गई थी, लेकिन परमाणुओं से जुड़ी यह एकमात्र कठिनाई नहीं थी।

1800 के दशक की शुरुआत में अध्ययन किए गए अधिकांश यौगिक सरल अणुओं से बने थे जिनमें प्रत्येक में केवल कुछ परमाणु होते थे। विभिन्न प्रकार के परमाणुओं को सूचीबद्ध करना और प्रत्येक की संख्या बताना पर्याप्त था। पानी का अणु H_2O था (2 हाइड्रोजन परमाणु और 1 ऑक्सीजन परमाणु); अमोनिया का अणु NH_3 था (1 नाइट्रोजन परमाणु और 3 हाइड्रोजन परमाणु); हाइड्रोजन क्लोराइड का अणु HCl था (1 हाइड्रोजन परमाणु और 1 क्लोरीन परमाणु); सल्फ्यूरिक एसिड का अणु H_2SO_4 था (2 हाइड्रोजन परमाणु, 1 सल्फर परमाणु, और 4 ऑक्सीजन परमाणु)।

हालाँकि, कुछ मामलों में, केवल परमाणुओं को गिनना पर्याप्त नहीं था। 1824 में, दो जर्मन रसायनज्ञ, जस्टस वॉन लीबिग और फ्रेडरिक वोहलर, दो अलग-अलग यौगिकों पर काम कर रहे थे। प्रत्येक ने अपने यौगिक के लिए सूत्र निकाला, और इस तत्व के इतने परमाणु और उस तत्व के इतने परमाणु पाए।

जब उन्होंने अपने परिणामों की घोषणा की, तो पता चला कि दोनों यौगिकों का सूत्र एक जैसा था। प्रत्येक के अणु में समान तत्व समान अनुपात में थे - फिर भी वे अलग-अलग यौगिक थे जो अलग-अलग तरीकों से व्यवहार करते थे।

बर्ज़ीलियस, जो अपने समय के प्रमुख रसायनज्ञ थे, हैरान थे। उन्होंने दोनों रसायनज्ञों के कार्य को दोहराया और पाया कि दोनों सही थे। समान अनुपात में समान तत्वों से बने दो अलग-अलग यौगिक थे। बर्ज़ीलियस ने उन्हें

"आइसोमर्स" (isomers) कहा, जो ग्रीक शब्दों से लिया गया है जिसका अर्थ है "समान अनुपात"। आइसोमर्स के अन्य मामले भी मिले, जो लगभग हमेशा कार्बन परमाणु वाले अणुओं में पाए गए। यह विशेष रूप से महत्वपूर्ण था क्योंकि जीवित जीवों में मौजूद अणुओं में आमतौर पर कार्बन परमाणु होते हैं। वास्तव में, बर्ज़ीलियस ने पौधों और जानवरों से प्राप्त इन कार्बनयुक्त अणुओं को इसी कारण "कार्बनिक यौगिक" (organic compounds) कहा।

कार्बनिक यौगिकों के सूत्र निकालना और कठिन होता गया। जबकि कार्बन परमाणुओं के बिना अधिकांश अणु ("अकार्बनिक यौगिक") छोटे थे, ताकि उनकी संरचनाएँ आसानी से निकल जाएँ, कार्बनिक यौगिक बड़े अणुओं से बने होते थे जिनमें कार्बन परमाणु होते थे। रसायनज्ञों ने बड़े कार्बनिक अणुओं में प्रत्येक प्रकार के परमाणु की कितनी संख्या मौजूद है, इस बारे में भ्रमित होना शुरू कर दिया। यहां तक कि जब वे कुछ आंकड़े लेकर आए, तो उन्होंने पाया कि एक ही संयोजन, उदाहरण के लिए C_2H_6O, कई अलग-अलग आइसोमर्स का प्रतिनिधित्व कर सकता है।

जाहिर है, एक अणु में परमाणुओं की संख्या की सूची बनाना पर्याप्त नहीं था। उन परमाणुओं को किसी खास तरीके से व्यवस्थित भी किया जाना चाहिए। इसलिए, भले ही आपके पास दो अलग-अलग अणुओं में एक ही प्रकार के परमाणुओं की समान संख्या हो, वे अलग-अलग तरीकों से व्यवस्थित हो सकते हैं। यही वह चीज थी जिसने अणुओं को अलग बनाया।

लेकिन रसायनज्ञ उन तरीकों का पता कैसे लगा सकते थे जिनसे परमाणु अणुओं में व्यवस्थित होते हैं, जब परमाणु और अणु दोनों देखने में बहुत छोटे होते हैं?

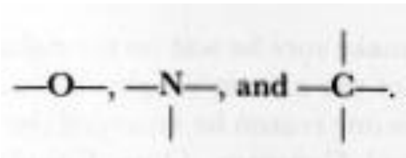
पहला कदम एक अंग्रेजी रसायनज्ञ, एडवर्ड फ्रैंकलैंड ने उठाया। उन्होंने कार्बनिक अणुओं को कुछ धातुओं के साथ जोड़ा, और उन्होंने पाया कि एक

विशेष धातु का परमाणु हमेशा कार्बनिक अणुओं की एक विशेष संख्या के साथ जुड़ता है।

1852 में, उन्होंने सुझाव दिया कि विभिन्न प्रकार के प्रत्येक परमाणु में अन्य परमाणुओं की एक निश्चित संख्या से अधिक के साथ संयोजन करने की शक्ति होनी चाहिए। प्रत्येक प्रकार के परमाणु की एक निश्चित "संयोजकता" (valence) होती है, जो एक लैटिन शब्द से लिया गया है जिसका अर्थ है "शक्ति"।

उदाहरण के लिए, हाइड्रोजन की संयोजकता एक होती है। एक हाइड्रोजन परमाणु केवल एक अन्य परमाणु के साथ जुड़ सकता है। ऑक्सीजन की संयोजकता दो होती है, इसलिए यह दो अन्य परमाणुओं के साथ जुड़ सकती है। नाइट्रोजन की संयोजकता तीन होती है; कार्बन की संयोजकता चार होती है; और इसी तरह।

1858 में, एक स्कॉटिश रसायनज्ञ, आर्किबाल्ड स्कॉट कूपर ने सुझाव दिया कि प्रत्येक परमाणु को ऐसे देखा जाए जैसे कि उसके पास कई "बंध" (bonds) हैं जिनके द्वारा वह खुद को अन्य परमाणुओं से जोड़ सकता है। चूँकि हाइड्रोजन की संयोजकता एक होती है, हाइड्रोजन परमाणु में एक बंध होता है, जिसे H- के रूप में लिखा जा सकता है। इसी तरह दो संयोजकता वाले ऑक्सीजन, तीन संयोजकता वाले नाइट्रोजन और चार संयोजकता वाले कार्बन को इस तरह लिखा जा सकता है:



फिर आप परमाणुओं के बीच बंधों को जोड़कर अणुओं का निर्माण कर सकते थे। इस प्रकार, एक हाइड्रोजन अणु, जो 2 हाइड्रोजन परमाणुओं से

बना होता है, H--H हो सकता है, प्रत्येक परमाणु अपने एक बंध से दूसरे को पकड़े रहता है। कभी-कभी दो परमाणुओं को जोड़ने के लिए एक से अधिक बंध का उपयोग किया जा सकता था। जैसे- ऑक्सीजन के कण को O=O और नाइट्रोजन के कण को N≡N लिखा जा सकता है।

जब अलग-अलग तरह के परमाणु बंध में शामिल हों तो उन्हें इस प्रकार लिखा जा सकता है, जैसे- पानी के कण को H-O-H, और कार्बन डाइऑक्साइड के कण को O-C-O।

कभी-कभी कुछ बंधों का उपयोग नहीं किया जाता है। कार्बन मोनोऑक्साइड CO है, जिसे C=O के रूप में लिखा जा सकता है। ऑक्सीजन परमाणु के केवल दो बंध होते हैं और वे समाप्त हो जाते हैं, लेकिन कार्बन परमाणु के चार बंध होते हैं, और उनमें से दो का उपयोग नहीं किया जा रहा है। हालाँकि, कार्बन मोनोऑक्साइड आसानी से जल जाता है, ऑक्सीजन के साथ मिलकर, अनउपयोगी बंधों की प्रत्येक जोड़ी के लिए एक ऑक्सीजन परमाणु लेता है और कार्बन डाइऑक्साइड बन जाता है।

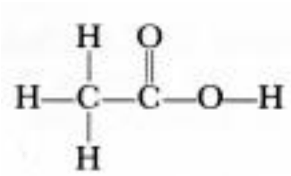
परमाणु बंधों का उपयोग करके अणुओं के निर्माण की विधि छोटे अकार्बनिक यौगिकों पर आसानी से लागू होती थी। हालाँकि, बड़े और भ्रमित करने वाले कार्बनिक अणुओं की व्याख्या करने की आवश्यकता थी।

केकुले ने संयोजकता सिद्धांत को कार्बनिक यौगिकों पर लागू करने के लिए संघर्ष किया, और 1858 में उन्होंने अपने परिणाम प्रस्तुत किए। उन्होंने दिखाया कि इस तथ्य पर ध्यान केंद्रित करके कि कार्बन परमाणुओं में प्रत्येक के चार बंध होते हैं, वह कई अणुओं को समझ सकते हैं जिनकी संरचनाएँ तब तक पेचीदा थीं।

यह सुनिश्चित करने के लिए कि वह सही रास्ते पर हैं, उन्हें प्रयुक्त प्रत्येक तत्व के परमाणु भार के बारे में निश्चित होना था। यही एक कारण था कि उन्होंने

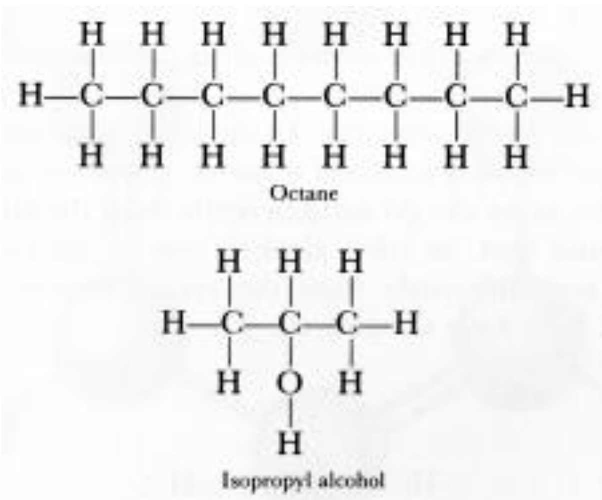
प्रथम अंतरराष्ट्रीय रासायनिक कांग्रेस का आयोजन किया। एक बार कैनिज़ारो ने परमाणु भार के मामले को स्पष्ट कर दिया, तो केकुले को यकीन हो गया कि वह सही रास्ते पर हैं।

उदाहरण के लिए, एसिटिक अम्ल का अणु, जो सिरके को उसका खट्टा स्वाद देता है, $C_2H_4O_2$ है। केकुले की व्यवस्था में इसे इस प्रकार लिखेंगे:

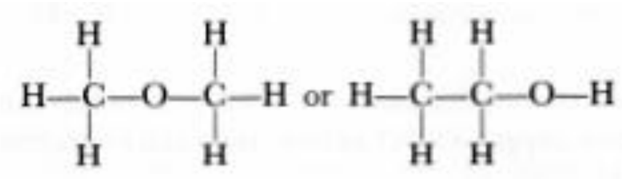


यहाँ गौरतलब है कि प्रत्येक कार्बन कण से चार बंध जुड़े हैं। ऑक्सीजन से दो और हाइड्रोजन से एक-एक बंध जुड़ा हुआ है।

पेट्रोल में पाया जाने वाला एक यौगिक ऑक्टेन C_8H_{18} है। इसी तरह आइसोप्रोपाइल एल्कोहॉल C3H8O है। केकुले की व्यवस्था के अनुसार इन्हें इस तरह व्यक्त करेंगे:

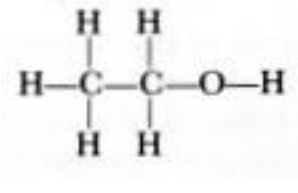


केकुले की प्रणाली का उपयोग करके, आप आइसोमर (Isomer) को भी समझाना शुरू कर सकते हैं। उदाहरण के लिए, एथाइल अल्कोहल (वह अल्कोहल जो वाइन में पाया जाता है) का सूत्र C_2H_6O है। एक अन्य कार्बनिक यौगिक, डाइमिथाइल ईथर, जो एथाइल अल्कोहल से बिल्कुल अलग है, उसका भी सूत्र C_2H_6O ही है। केकुले की प्रणाली के अनुसार कार्बन के 2 परमाणुओं, हाइड्रोजन के 6 परमाणुओं और ऑक्सीजन के एक परमाणु को आप ठीक-ठीक दो तरह इस इस प्रकार लिख सकते हैं:

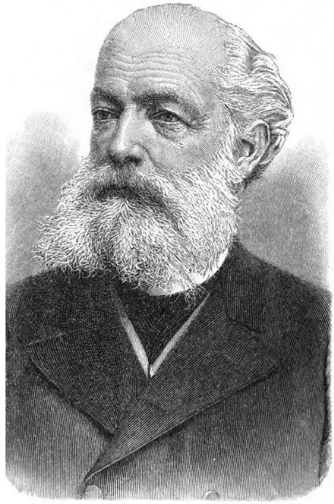


दोनों ही स्थितियों में, आपके पास 2 कार्बन परमाणु हैं, प्रत्येक में चार-चार बंध; 1 ऑक्सीजन परमाणु है, जिसमें दो बंध हैं; और 6 हाइड्रोजन परमाणु हैं, प्रत्येक में एक-एक बंध। इन सूत्रों में से एक एथाइल अल्कोहल के लिए होगा और दूसरा डाइमिथाइल ईथर के लिए, लेकिन कौन सा किसका है?

एक स्थिति में, आप देखेंगे कि सभी हाइड्रोजन परमाणु कार्बन परमाणुओं से जुड़े हुए हैं, इसलिए सभी हाइड्रोजन परमाणुओं का व्यवहार एक जैसा होना चाहिए। दूसरी स्थिति में, एक हाइड्रोजन परमाणु का व्यवहार बाकी हाइड्रोजन परमाणुओं से अलग होना चाहिए। यह पाया गया कि एथाइल अल्कोहल में, एक हाइड्रोजन परमाणु का व्यवहार बाकी से अलग होता है। इसलिए, एथाइल अल्कोहल का सूत्र यह होना चाहिए:



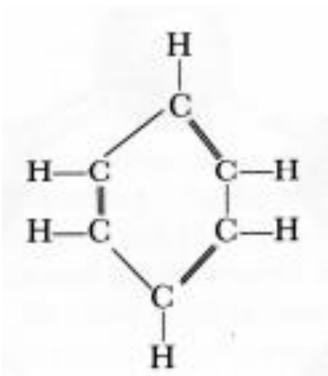
केकुले द्वारा अपनी प्रणाली की घोषणा करने के बाद कार्बनिक यौगिकों से जुड़ी कई समस्याएं जल्दी हल होने लगीं। हालाँकि, एक साधारण यौगिक एक पहेली बना रहा। वह बेंजीन था, जिसका सूत्र C_6H_6 है। केकुले प्रणाली द्वारा 6 कार्बन परमाणुओं और 6 हाइड्रोजन परमाणुओं को संयोजित करके एक अणु बनाने का कोई तरीका नहीं लगता था जो बेंजीन की तरह व्यवहार करे।



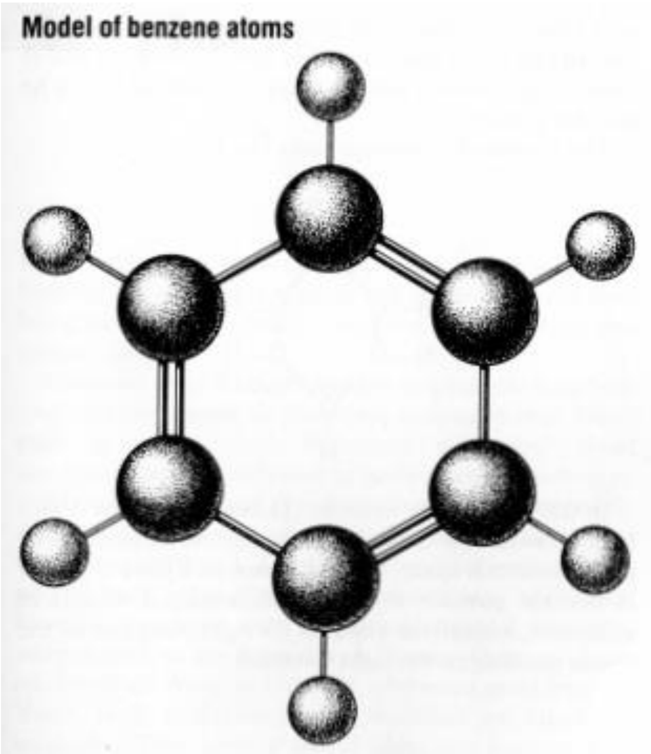
August Kekule von Stradonitz.

केकुले ने इस समस्या पर विचार किया लेकिन कुछ हासिल नहीं हुआ। फिर, 1865 में एक दिन, वह एक घोड़ागाड़ी पर सवारी कर रहे थे और ऊँघने लगे। आधे नींद में, उन्हें लगा जैसे कार्बन परमाणुओं की एक श्रृंखला उनके पास से गुजर रही है। अचानक, एक श्रृंखला का सिरा अपने आप ही दूसरे सिरे से जुड़ गया और परमाणुओं की एक अंगूठी बना दी। केकुले तुरंत जाग गए और जान गए कि उन्हें जवाब मिल गया है।

बेंजीन का सूत्र एक षट्कोण की तरह कुछ इस तरह दिखता है:



1874 में, एक डच रसायनज्ञ, जैकबस हेनरिकस वैन्ट हॉफ़ ने दिखाया कि कार्बन परमाणु के बंध वास्तविक स्थान में कैसे रखे जा सकते हैं, न कि केवल कागज के एक टुकड़े पर खींचे गए। अणुओं के 3-आयामी मॉडल



बनाना संभव हो गया, जिसमें सभी परमाणु सही जगह पर होते हैं और सभी बंध सही दिशा में इंगित करते हैं।

5. परमाणुओं की वास्तविकता

1800 के दशक के अंत तक, परमाणु सिद्धांत ने अपनी सभी लड़ाइयाँ जीत ली थीं। अधिक से अधिक अणुओं की संरचनाओं का विस्तार से पता लगाया जा रहा था, यहाँ तक कि कुछ बहुत जटिल कार्बनिक अणुओं की भी।

रसायनज्ञों ने परमाणुओं को एक साथ जोड़कर ऐसे नए अणु बनाने के लिए केकुले की प्रणाली का उपयोग किया जो प्रकृति में मौजूद नहीं थे। ऐसे "सिंथेटिक अणु" कभी-कभी रंगों या इत्र या दवाओं के रूप में उपयोग किए जा सकते थे।

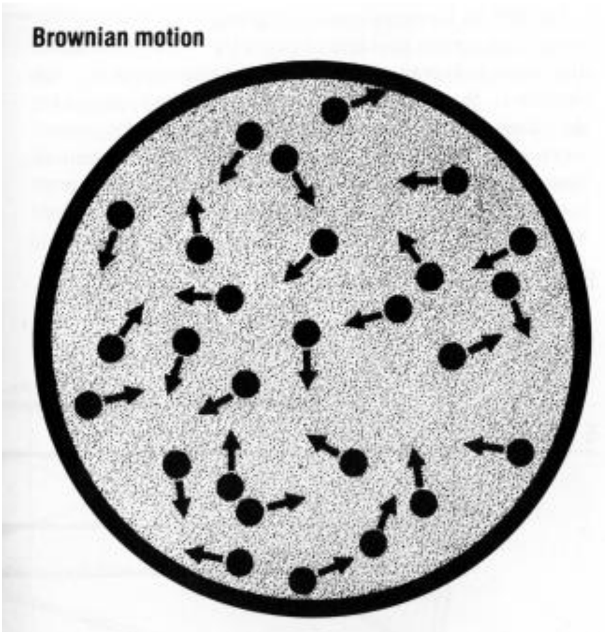
लेकिन फिर भी किसी ने कभी भी एक परमाणु या अणु नहीं देखा था। परमाणु और अणु रसायनज्ञों द्वारा पाए जाने वाले तथ्यों की व्याख्या करने के तरीके बने रहे। वे बहुत उपयोगी धारणाएँ थीं, लेकिन कोई नहीं जानता था कि परमाणु या अणु वास्तव में कैसे होते हैं, वे कितने बड़े होते हैं, उनका वजन कितना होता है, उनका आकार कैसा होता है, या और कुछ। एक रूसी-जर्मन रसायनज्ञ, फ्रेडरिक विल्हेम ओस्टवाल्ड, जो वैन्ट हॉफ़ के अच्छे दोस्त थे, ने कहा कि परमाणुओं को बहुत गंभीरता से नहीं लिया जाना चाहिए। वे एक उपयोगी विचार थे, लेकिन और कुछ नहीं। भले ही उनके दोस्त, वैन्ट हॉफ़ ने अणुओं के मॉडल तैयार करने के तरीके खोजे थे, ओस्टवाल्ड ने जोर देकर कहा कि कोई सबूत नहीं है कि परमाणु वास्तव में मौजूद हैं। क्या ओस्टवाल्ड को यह मनवाने का कोई तरीका था कि परमाणु मौजूद हैं?



1827 में, रॉबर्ट ब्राउन नामक एक स्कॉटिश वनस्पतिशास्त्री पानी में तैरने वाले पराग के छोटे कणों को देखने के लिए एक सूक्ष्मदर्शी का उपयोग कर रहे थे। उन्होंने देखा कि पराग के

छोटे टुकड़े हर दिशा में घूम रहे थे। बेशक, पराग कण पौधों से आते हैं और उनमें जीवन के छोटे-छोटे कण होते हैं, इसलिए ब्राउन ने सोचा कि टुकड़े इसलिए घूम रहे होंगे क्योंकि वे जीवित थे।

हालाँकि, ब्राउन ने छोटे रंग कणों के साथ एक ही प्रयोग किया, जो निश्चित रूप से जीवित नहीं थे। वे ठीक उसी तरह चले गए। ऐसी गति को "ब्राउनियन गति" कहा जाता है। 30 से अधिक वर्षों तक, कोई नहीं जानता था कि इसकी व्याख्या कैसे की जाए।



लगभग 1860 में, एक स्कॉटिश गणितज्ञ, जेम्स क्लर्क मैक्सवेल ने गैसों के व्यवहार का अध्ययन किया। उन्होंने दिखाया कि न केवल उन्हें परमाणुओं या अणुओं से बना होना चाहिए, बल्कि ये परमाणु या अणु हर समय सभी दिशाओं में घूम रहे होने चाहिए, और वे एक दूसरे से टकरा रहे होंगे। तापमान जितना अधिक होगा, परमाणु या अणु उतनी ही तेजी से चलेंगे और उतनी ही जोर से टकराएंगे। पानी जैसे द्रवों में अणु सदैव गतिशील रहते हैं और टकराते रहते हैं, हालाँकि गैसों की तुलना में इतनी आसानी से नहीं।

जो भी वस्तु पानी से घिरी होती है, उससे सभी दिशाओं से परमाणु या अणु निरंतर टकराते रहते हैं। विपरीत दिशाओं से होने वाली टक्करों की

संख्या लगभग बराबर होती है, इसलिए ये टक्करें अक्सर एक-दूसरे को संतुलित कर देती हैं। एक दिशा से दूसरी की तुलना में कुछ अधिक टक्करें हो सकती हैं, लेकिन परमाणु और अणु इतने हल्के होते हैं कि यदि टकराई जाने वाली वस्तु काफी बड़ी है तो कुछ अतिरिक्त टक्करों से कोई अंतर नहीं पड़ता।

लेकिन मान लीजिए कि पानी में एक बहुत ही सूक्ष्म कण है। यह सभी दिशाओं से टकरा रहा है और, जब एक दिशा या दूसरी दिशा से कुछ अतिरिक्त जल के अणु टकराते हैं, तो इस सूक्ष्म कण को एक काफी बड़ा धक्का लगता है। पहले एक दिशा से कुछ अतिरिक्त टक्करें हो सकती हैं, फिर दूसरी दिशा से, फिर किसी अन्य दिशा से, और इसी तरह आगे। कण को पहले एक दिशा में, फिर दूसरी दिशा में, फिर किसी अन्य दिशा में धकेला जाता है, और इसी तरह आगे।

यह सूक्ष्म कण अंतहीन रूप से इधर-उधर हिलता-डुलता रहता है, जो इस बात पर निर्भर करता है कि अण्विक टक्करों की दिशा क्या होती है। यही ब्राउनियन गति की व्याख्या है।

सन 1905 में, जर्मन मूल के गणितज्ञ, अल्बर्ट आइंस्टीन ने ब्राउनियन गति से चलने वाले कणों की समस्या पर कार्य किया। उन्हें ऐसा प्रतीत हुआ कि गतिमान कण जितना छोटा होगा, टकराने वाले अणुओं द्वारा उसे उतनी ही आसानी से इधर-उधर धकेला जा सकेगा और एक निश्चित समय में वह अपनी मूल स्थिति से उतना ही अधिक दूर चला जाएगा। इसी प्रकार, गतिमान अणु जितने बड़े होंगे, वे कण को उतनी ही आसानी से धकेलेंगे और उसे उतना ही अधिक दूर ले जाएंगे।

आइंस्टीन ने एक जटिल गणितीय व्यंजक विकसित किया जिसमें कण का आकार, जल के अणु का आकार, एक निश्चित समय में कण द्वारा तय की गई दूरी, आदि शामिल थे। यदि कोई जल के अणु के आकार को छोड़कर,

गणितीय व्यंजक के सभी भागों के लिए आंकड़े निर्धारित कर सके, तो उस आकार की गणना की जा सकती थी।

सन 1908 में, एक फ्रांसीसी वैज्ञानिक, जीन बैप्टिस्ट पेरिन ने इस समस्या का समाधान किया। उन्होंने गोंद रेजिन नामक एक पदार्थ के छोटे कणों को पानी के एक पात्र में रखा। गुरुत्वाकर्षण ने कणों को पात्र की तली की ओर खींचा, लेकिन ब्राउनियन गति ने उन्हें ऊपर की ओर धकेलना जारी रखा।

आइंस्टीन के गणितीय व्यंजक के अनुसार, तली से ऊपर जाने पर पानी में कणों की संख्या एक निश्चित मात्रा से कम होती जानी चाहिए। पेरिन ने विभिन्न ऊँचाइयों पर कणों की गिनती की और जल के अणु के आकार को छोड़कर आइंस्टीन के गणितीय व्यंजक में शामिल प्रत्येक चीज़ के लिए आंकड़े प्रस्तुत करने में सक्षम हुए। फिर वे इसके आकार की गणना कर सके।

पहली बार, जल के अणु और उसे बनाने वाले परमाणुओं के आकार का पता लगाया गया। यह पता चला कि एक परमाणु लगभग 1/100,000,000 सेंटीमीटर चौड़ा होता है। इसका अर्थ है कि यदि 10 करोड़ परमाणुओं को एक के बाद एक रखा जाए, तो वे 1 सेंटीमीटर लंबी एक रेखा बनाएंगे।

इसका यह भी अर्थ था कि पानी के एक लीटर में 30,000,000,000,000,000,000,000,000 अणु होते हैं। यदि पानी की एक बूंद को पूरी दुनिया के सभी 4,000,000,000 लोगों में समान रूप से बाँट दिया जाए, तो प्रत्येक व्यक्ति को लगभग 7,000,000,000,000 अणु मिलेंगे।

जब पेरिन के प्रयोग का समाचार पहुंचा तो ओस्टवाल्ड को अपना विचार छोड़ना पड़ा। ब्राउनियन गति ने निश्चित रूप से किसी व्यक्ति के लिए व्यक्तिगत अणुओं को कार्यरत देखना संभव बना दिया था। भले ही अणुओं को स्वयं नहीं देखा जा सकता था, लेकिन उनके हिलने-डुलने, धकेलने और

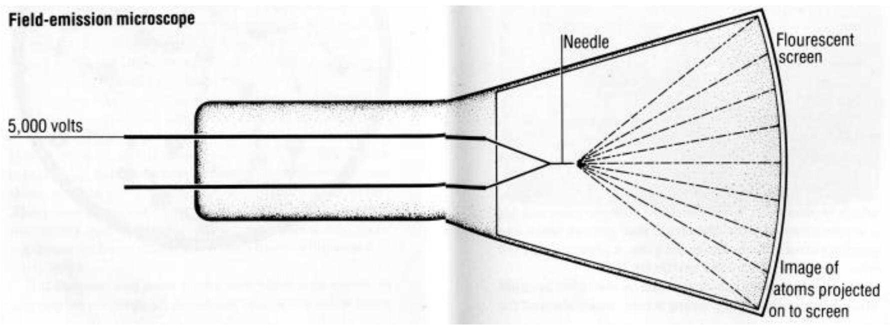
टकराने के परिणाम देखे जा सकते थे। इस प्रकार, पेरिन के कारण, यह स्पष्ट प्रमाण प्राप्त हुआ कि व्यक्तिगत परमाणु कितने बड़े होते हैं।

उसके बाद, वस्तुतः प्रत्येक वैज्ञानिक को यह निश्चित हो गया कि परमाणु वास्तव में अस्तित्व में हैं और वे केवल एक सुविधाजनक धारणा मात्र नहीं हैं।

सन 1936 में, अर्विन विल्हेम म्युलर नामक एक जर्मन वैज्ञानिक ने "फील्ड-एमिशन माइक्रोस्कोप" (क्षेत्र-उत्सर्जन सूक्ष्मदर्शी) का आविष्कार किया। इसमें एक ऐसे पात्र में एक बहुत ही बारीक सुई-नोक का उपयोग किया गया था जिससे सारी हवा निकाल दी गई थी (एक "निर्वात")।

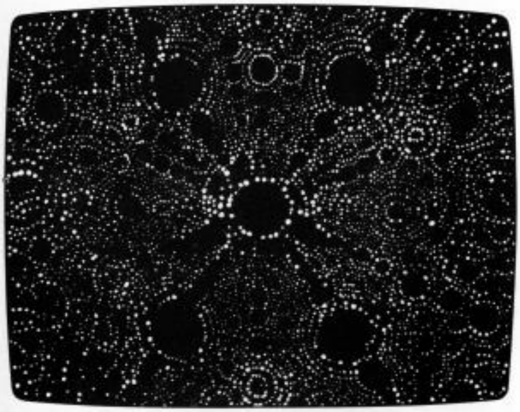
गर्म करने पर, सुई की नोक से सूक्ष्म कण निकलते थे, जो नोक से सीधी रेखाओं में दूर जाते थे और एक ऐसी स्क्रीन से टकराते थे जिस पर रसायन लगे होते थे जो कणों के टकराने पर चमकते थे। इस चमक से, कोई भी व्यक्ति यह बता सकता था कि सुई की नोक की संरचना किस प्रकार की है।

म्युलर ने इस उपकरण में सुधार किए और 1950 के दशक तक वे चमकती हुई स्क्रीन की तस्वीरें ले सकते थे, जो सुई की नोक को बनाने वाले परमाणुओं को दिखाती थीं, जो सभी सुव्यवस्थित रूप से पंक्तिबद्ध थे।



अंततः, लोग परमाणुओं को देखने में सक्षम हो गए। हालाँकि, जब तक वे ऐसा कर पाए, तब तक वे जान गए थे कि परमाणु वे नहीं हैं जिन्हें कभी समझा जाता था। ल्यूसिपस और डेमोक्रिटस ने सोचा था कि परमाणु अटूट वस्तुएं हैं और संभव की सबसे छोटी चीजें हैं। (याद रखें कि "परमाणु" शब्द का अर्थ ही "अविभाज्य" होता है।)

Atoms in a crystal of tungsten appear as small luminous dots on the screen of a field-emission microscope



डाल्टन ने भी यही सोचा था और, 1800 के दशक के दौरान, रसायनशास्त्री इस बात से आश्वस्त थे कि परमाणु ही सबसे छोटी चीजें हैं। उन्होंने परमाणुओं की कल्पना छोटी-छोटी गेंदों के रूप में की थी, जो कठोर और चिकनी होती थीं, जिन पर निशान नहीं बनाए जा सकते थे और न ही तोड़े जा सकते थे।

फिर, जैसे-जैसे 1800 का दशक समाप्त हुआ, पता चला कि यह बात आखिरकार सही नहीं थी। परमाणु कई प्रकार के और भी छोटे "उप-परमाण्विक कणों" से बना होता है। एक महत्वपूर्ण उप-कण "इलेक्ट्रॉन" है। इसका भार हाइड्रोजन परमाणु, जो सबसे छोटा परमाणु है, के भार का केवल 1/1837 वाँ भाग होता है। म्युलर के पहले फील्ड-एमिशन माइक्रोस्कोप की बारीक सुई-नोक द्वारा उत्सर्जित कण इलेक्ट्रॉन थे।

आजकल वैज्ञानिक जानते हैं कि परमाणुओं के बिल्कुल केंद्र में एक सूक्ष्म नाभिक होता है। इस सूक्ष्म नाभिक का भार लगभग पूरे परमाणु के बराबर

होता है। इसके चारों ओर कई बहुत हल्के इलेक्ट्रॉन होते हैं। वैज्ञानिकों ने यह कैसे खोजा कि परमाणुओं के अंदर क्या होता है, यह एक जटिल कहानी है। इसके बारे में किसी अन्य पुस्तक में बताना होगा।

International Atomic Masses

Element	Symbol	Atomic number	Atomic mass	Element	Symbol	Atomic number	Atomic mass
Actinium	Ac	89	227.02779*	Neodymium	Nd	60	144.24
Aluminum	Al	13	26.98154	Neon	Ne	10	20.179
Americium	Am	95	243.06139*	Neptunium	Np	93	237.0482
Antimony	Sb	51	121.75	Nickel	Ni	28	58.71
Argon	Ar	18	39.948	Niobium	Nb	41	92.9064
Arsenic	As	33	74.9216	Nitrogen	N	7	14.0067
Astatine	At	85	209.98704*	Nobelium	No	102	255.093*
Barium	Ba	56	137.33	Osmium	Os	76	190.2
Berkelium	Bk	97	247.07032*	Oxygen	O	8	15.9994
Beryllium	Be	4	9.01218	Palladium	Pd	46	106.4
Bismuth	Bi	83	208.9808	Phosphorus	P	15	30.97376
Boron	B	5	10.81	Platinum	Pt	78	195.09
Bromine	Br	35	79.904	Plutonium	Pu	94	244.06424*
Cadmium	Cd	48	112.41	Polonium	Po	84	208.98244*
Calcium	Ca	20	40.08	Potassium	K	19	39.0983
Californium	Cf	98	251.07961*	Praseodymium	Pr	59	140.9077
Carbon	C	6	12.011	Promethium	Pm	61	144.91279*
Cerium	Ce	58	140.12	Protactinium	Pa	91	231.0359*
Cesium	Cs	55	132.9054	Radium	Ra	88	226.0254
Chlorine	Cl	17	35.453	Radon	Rn	86	222*
Chromium	Cr	24	51.996	Rhenium	Re	75	186.2
Cobalt	Co	27	58.9332	Rhodium	Rh	45	102.9055
Copper	Cu	29	63.546	Rubidium	Rb	37	85.4678
Curium	Cm	96	247.07038*	Ruthenium	Ru	44	101.07
Dysprosium	Dy	66	162.50	Samarium	Sm	62	150.4
Einsteinium	Es	99	254.08805*	Scandium	Sc	21	44.9559
Erbium	Er	68	167.26	Selenium	Se	34	78.96
Europium	Eu	63	151.96	Silicon	Si	14	28.0855
Fermium	Fm	100	257.09515*	Silver	Ag	47	107.868
Fluorine	F	9	18.998403	Sodium	Na	11	22.9898
Francium	Fr	87	223.01976*	Strontium	Sr	38	87.62
Gadolinium	Gd	64	157.25	Sulfur	S	16	32.06
Gallium	Ga	31	69.737	Tantalum	Ta	73	180.9479
Germanium	Ge	32	72.59	Technetium	Tc	43	96.9062*
Gold	Au	79	196.9665	Tellurium	Te	52	127.60
Hafnium	Hf	72	178.49	Terbium	Tb	65	158.9254
Helium	He	2	4.00260	Thallium	Tl	81	204.37
Holmium	Ho	67	164.9304	Thorium	Th	90	232.0381
Hydrogen	H	1	1.0079	Thulium	Tm	69	168.9342
Indium	In	49	114.82	Tin	Sn	50	118.69
Iodine	I	53	126.9045	Titanium	Ti	22	47.90
Iridium	Ir	77	192.22	Tungsten	W	74	183.85
Iron	Fe	26	55.847	Uranium	U	92	238.029
Krypton	Kr	36	83.80	Vanadium	V	23	50.9415
Lanthanum	La	57	138.9055	Xenon	Xe	54	131.30
Lawrencium	Lr	103	256.099*	Ytterbium	Yb	70	173.04
Lead	Pb	82	207.2	Yttrium	Y	39	88.9059
Lithium	Li	3	6.941	Zinc	Zn	30	65.38
Lutetium	Lu	71	174.967	Zirconium	Zr	40	91.22
Magnesium	Mg	12	24.305	Element 104†		104	257*
Manganese	Mn	25	54.9380	Element 105†		105	260*
Mendelevium	Md	101	258*	Element 106†		106	263*
Mercury	Hg	80	200.59	Element 107†		107	258*
Molybdenum	Mo	42	95.94				

*The mass of the isotope with the longest known half-life.

† Names for elements 104–107 have not yet been approved by the IUPAC. The USSR has proposed Kurchatovium (Ku) for element 104, and Bohrium (Bh) for element 105. The United States has proposed Rutherfordium (Rf) for element 104, and Hahnium (Ha) for element 105.

***